
Inkrementelle, Echtzeitregistrierung von getrackten Instrumenten in röhrenförmigen Organstrukturen innerhalb des menschlichen Körpers

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur objektiveren und genaueren Navigation bei medizinischen, diagnostischen und therapeutischen Eingriffen an nicht-knöchernen, röhrenförmigen Organstrukturen.

Hintergrund der Erfindung

In den letzten Jahren wurde u.a. durch eine Veränderung der Rauchgewohnheiten eine steigende Inzidenz von Adenokarzinomen und weiter peripher gelegenen Bronchialkarzinomen beobachtet (Stanley K.E., 1980, J. Natl. Cancer Inst, Band 65: Seiten 25-32). Einen viel versprechenden strahlentherapeutischen Ansatz stellt die Einführung der stereotaktischen Bestrahlung der Lunge dar. Nachteil dieser Methode ist allerdings der erhebliche technische und zeitliche Aufwand (Vollnarkose unter Hochfrequenz-Jet-Beatmung). Ein weiterer Ansatz ist die Anwendung einer navigierten endoluminalen Bestrahlung mittels Brachytherapie (Harms et al., 2001, Semin. Surg. Oncol., Band 20, Seiten 57-65). Dabei wird ein radioaktiver Strahler durch einen Katheter für einen geplanten Zeitraum direkt im Tumor platziert. Aufgrund des steilen Dosisabfalls der Strahlenquelle (Ir192) können hochkonformale Dosisverteilungen erreicht werden, die es erlauben, umliegende Normalgewebe zu schonen und hohe Dosen an Tumoren zu applizieren. Bisher konnte eine Brachytherapie nur bei zentral gelegenen Bronchialkarzinomen eingesetzt werden. Der Bestrahlungskatheter wird hierzu von einem Lungenspezialisten mit Hilfe einer konventionellen Bronchoskopie eingeführt. Aufgrund der starken Verästelung des Bronchialbaums und dem damit verbundenen Problem, den richtigen Weg zu weiter peripher gelegenen Lungentumoren zu finden, konnte die endoluminale Bestrahlung bisher nur bei Tumoren bis zu Ebene der 2. Segmentbronchien durchgeführt werden. Abhilfe schafft hier der Einsatz eines elektromagnetischen Navigationssystems, welches während der Bronchoskopie den Weg zu weiter peripher gelegenen Regionen zeigt. Elektromagnetische Trackingsysteme mit sehr kleinen Empfangsspulen, die die Katheterspitze ohne direkte Sicht lokalisieren, sind bereits kommerziell erhältlich (z.B. AURORA, Northern Digital Inc.; Waterloo, Ontario Canada)

und zeigen bereits eine hohe Treffergenauigkeit. Sie müssen aber bezüglich des Umgangs in sich ständig bewegenden Weichteilgeweben, z.B. der Lunge, und der Anzeige eines zuvor geplanten Zielpfades erweitert werden. Eine auf Computertomografie (CT) – Bilddaten basierende Navigation für die Bronchoskopie ist aus dem Stand der Technik bekannt (Superdimension, Herzli, Israel, Schwarz et al., 2003, Respiration Band 70; Seiten 516-522). Jedoch erschwert die kontinuierliche Ventilation der Lunge und die damit einher gehenden Translokationen des Bronchialbaumes die Bestimmung der exakten Lagebeziehung zwischen der Katheterspitze und dem Bronchialbaum erheblich. Auch der Ansatz, die Atembewegung durch auf den Brustkorb angebrachte Marker zu detektieren und bei der Lagebestimmung zu berücksichtigen, führt beim klinischen Einsatz dieses Systems zu unbefriedigenden Ergebnissen. Insbesondere in der Peripherie des Bronchialbaums bedarf es einer Verbesserung hinsichtlich der Genauigkeit, so dass eine vom Arzt gewünschte Fusion von Videobild und virtueller Pfadführung ermöglicht wird. Hierbei ist nicht nur die initiale Positionierung des Bestrahlungskatheters, sondern auch die Kontrolle seiner Position über den Behandlungszeitraum hinweg von Interesse.

Bisher werden bei medizinischen, diagnostischen und therapeutischen Eingriffe an nicht-knöchernen, röhrenförmigen Organstrukturen, wie z.B. Blutgefäßen, Bronchien des menschlichen Körpers, bildgebende Verfahren, wie z.B. strahlungsintensive Durchleuchtungen, verwendet, die stets eine Strahlenbelastung für den Patienten bzw. den behandelnden Arzt darstellen. Erste Ansätze zur Navigation von getrackten Instrumenten, wie z.B. Katheter oder Bronchoskope, in nicht-knöchernen, röhrenförmigen Organstrukturen, reichen hinsichtlich ihrer Genauigkeit nicht aus, um diese radiologischen, bildgebenden Verfahren während des Eingriffs zu ersetzen.

Dabei werden bisher bei der Navigation in nicht-knöchernen, röhrenförmigen Organstrukturen, z.B. bei der navigierten Bronchoskopie, lediglich externe bzw. wenige interne künstliche oder anatomische Landmarken verwendet, um ein getracktes Instrument, wie z.B. Katheter, Bronchoskop, mit medizinischen Bilddaten zu registrieren. Dabei wird das Skelett einer röhrenförmigen Organstruktur nicht zur Registrierung bei Katheter bzw. Bronchoskopie Anwendungen verwendet.

Aufgrund von atmungsbedingten Bewegungen innerhalb des Thorax und des Abdomens kommt es zu großen Organverschiebungen bzw. Deformationen der betroffenen Regionen.

Registrierungspunkte auf dem Patienten bzw. wenige Landmarken innerhalb des Bronchus oder eines Blutgefäßes genügen nicht, um eine schritthaltende Registrierung des getrackten Katheters bzw. Bronchoskops mit zuvor aufgenommenen Computertomographie (CT-) oder Magnetresonanztomographie (MRT-) Bilddaten des Patienten zu gewährleisten.

5 Beispielsweise treten bei der Bronchoskopie Registrierungsfehler auf, die eine sichere bildgestützte Gewebeentnahme (Biopsie) oder intra-Bronchiale Bestrahlung erschweren bzw. das Risiko für den Patienten erhöhen.

Beschreibung der Erfindung

10

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Navigation bereitzustellen, mit dem eine Echtzeit-fähige Registrierung in röhrenförmigen Organstrukturen des menschlichen Körpers deutlich verbessert werden kann.

15

Als Lösung schlägt die Erfindung vor, aus den prä-interventionellen drei oder höher dimensional Bilddaten (CT, MRT) zunächst die röhrenförmigen Strukturen zu segmentieren und anschließend mittels bekannter Skelettierungsverfahren in eine Graphendarstellung zu überführen. Dabei repräsentiert die Mittellinie der röhrenförmigen Organstruktur die Kante des Graphen.

20

Während der Intervention (z.B. Biopsien oder Bestrahlung in der Lunge) wird zunächst eine Grobregistrierung des Patienten durch interne und externe Landmarken des Patienten durchgeführt.

25

Die Position des Instruments, wie z.B. Katheter in Gefäßen oder Bronchoskop bei der Bronchoskopie, wird während der Intervention durch ein Trackingsystem räumlich bestimmt. Nach der Grobregistrierung wird der Weg dieses getrackten Instruments, relativ zu den externen oder ggf. internen Markern, in der röhrenförmigen Struktur verfolgt. Die Lage des Instruments wird durch eine Transformationsvorschrift auf das Skelett (Modell)

30 der röhrenförmigen Organstruktur projiziert. Bei Kurven und Verzweigungen der röhrenförmigen Organstruktur kann das Modell sukzessive durch eine nicht rigide Transformation verändert werden, so dass die Position des Katheters stets innerhalb der röhrenförmigen Organstruktur zu liegen kommt. Während des Verschiebens bestimmt eine

Kostenfunktion den wahrscheinlichsten Modellabschnitt, an dem sich das Instrument befindet. Die beispielsweise atmungsbedingten Verschiebungen der röhrenförmigen Organstruktur führen zur räumlichen Bewegung des Instruments. Die zur Ausdehnung der röhrenförmigen Organstruktur orthogonalen Komponenten werden dabei zur Korrektur des Modells verwendet.

Damit wird es möglich, röhrenförmige Organstrukturen zur Echtzeit im Bereich des Instrumentes sehr exakt zu registrieren. Die Registrierung erfolgt dabei sukzessive entlang des Weges des Instruments.

Das Verfahren ist vergleichbar der lokalen Positionskorrektur in GPS-gestützten Kraftfahrzeugen, die über die Richtung und Entfernung, d.h. Geschwindigkeit und Zeit, einen Vergleich mit der elektronischen Landkarte durchführen und die Kreuzungen bzw. Kurven zur Positionskorrektur verwenden. Im bildhaften Vergleich wird bei der Navigation in röhrenförmigen Organstrukturen darüber hinaus die „Landkarte“, d.h. das Skelett bzw. Modell der röhrenförmigen Organstruktur, bei der orthogonalen Bewegung zur Straßenrichtung die Landkarte verzerrt.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung liegt darin, dass die Position des getrackten Instrumentes sukzessive mit dem Verlauf der röhrenförmigen Organstruktur verglichen wird und somit sowohl das Modell angepasst wird als auch die Lage des Instrumentes in Bezug zur Struktur (Registrierung) erschlossen wird.

Der Vorteil der Erfindung liegt in der deutlich erhöhten Genauigkeit der Registrierung bei röhrenförmigen Organstrukturen, die auch bei Bewegungen der Organstruktur gewährleistet werden kann.

Die deutliche Verbesserung der Registrierungsgenauigkeit in Gefäßen und Bronchien verbessert bestehende Navigationsverfahren und eröffnet neue Applikationen. Somit können strahlungsintensive Durchleuchtungen (Angiographie), die den Patienten und den behandelnden Arzt belasten, reduziert werden. Darüber hinaus kann eine verbesserte Genauigkeit bei der Platzierung von Gefäß-Stands oder der Platzierung von Herzschrittmacher-Elektroden erzielt werden.

Auf der Patientenoberfläche werden zwei oder mehr Tracker eines Trackingsystems angebracht. Der Mediziner führt die räumlich getrackte Bronchoskopspitze in die Trachea ein. Mittels der Bronchoskopie-Kamera wird die Lage des Bronchoskops mit der Position in den Bilddaten vom Arzt verglichen und interaktiv zugeordnet. Anschließend wird die Position der Bronchoskopspitze zum Bronchialbaum nach dem oben beschriebenen Verfahren korrigiert. So kann beispielsweise von einer in den präoperativen Bilddaten identifizierten Läsion, zielgenau eine Biopsie entnommen werden. Ein weiterer Anwendungsfall für die onkologische Bronchoskopie betrifft die Positionierung von Bestrahlungssonden innerhalb eines Bronchus.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Navigation bei medizinischen Eingriffen an röhrenförmigen Organstrukturen besteht darin, dass vor dem Eingriff statische Bilddaten der röhrenförmigen Organstrukturen aufgenommen und gespeichert werden. Aus diesen Bilddaten wird die röhrenförmigen Organstrukturen extrahiert und deren Verlauf in eine geometrische Beschreibung überführt. Diese wird während des medizinischen Eingriffs zur Instrumenten-Organregistrierung verwendet, indem das durch ein Trackingsystem räumlich lokalisierte Instrument erfasst wird. Dies geschieht unter Einbeziehung der geometrischen Beschreibung und Informationen über die bisherige von dem Instrument zurückgelegte Wegstrecke. Die zu bestimmende Transformation, die vorzugsweise durch ein Optimierungsverfahren bestimmt wird, wird relativ zu den statischen Daten sukzessive korrigiert. Es versteht sich, dass auch umgekehrt die statischen Daten relativ zu der Instrumentenposition sukzessive korrigiert werden kann. Somit wird die Position des Instruments den anatomischen Strukturen in den statischen Bilddaten zugeordnet.

25

Insbesondere kann die Information über die Wegstrecke die kontinuierliche Aufzeichnung der räumlichen Position des Instrumentes darstellen.

Vorzugsweise wird als räumliche Position des Instrumentes nur die Instrumentenspitze erfasst.

30

Es versteht sich, dass die räumliche Position des Instrumentes auch durch mehrere Positionen oder eine unendlich große Zahl von Positionen, und damit kontinuierlich, entlang des Instruments erfasst werden kann.

- 5 Die Information über die Wegstrecke kann weitere Merkmale enthalten, insbesondere Verzweigungen und Durchmesser der röhrenförmigen Organstrukturen, die während des Vorschiebens des Instruments erfasst werden.

- 10 Das Verfahren zur Navigation, und dabei insbesondere das Verfahren der Transformation, kann die statischen Bilddaten verformen, so dass die anatomischen Strukturen in den statischen Bilddaten mit den anatomischen Strukturen des Patienten an der Instrumentenposition übereinstimmen.

- 15 Aus der sich zeitlich ändernden Position des Instruments kann, insbesondere bei zyklischer Bewegungen, wie z.B. die Atembewegungen, die Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur berechnet werden. Hierbei kann insbesondere aus den Komponenten der Bewegung des Instrumentes, die orthogonal zu der röhrenförmigen Organstruktur sind die Bewegung errechnet werden.

- 20 Zusätzlich kann ein patientenindividuelles oder verallgemeinertes Bewegungsmodell der röhrenförmigen Organstruktur und/oder des umliegenden Gewebes zur Positionsbestimmung bzw. zur sukzessiven Registrierung des Sensors in der röhrenförmigen Organstruktur genutzt werden.

- 25 Durch Berücksichtigung der berechneten zyklischen Bewegung, können aus den Positionen des Instruments über die Zeit Informationen über den Verlauf und Aufbau der röhrenförmigen Struktur selbst gewonnen werden, um die statischen Informationen über die röhrenförmige Organstruktur zu erweitern oder ggf. diese komplett aufzubauen. Es versteht sich, dass diese aufgebauten Informationen zu einem späteren Zeitpunkt, 30 beispielsweise während einer Therapie oder Verlaufskontrolle, als statische Informationen genutzt werden können.

Es versteht sich, dass die sukzessive Registrierung des Sensors mit der röhrenförmigen Organstruktur nicht kontinuierlich erfolgen muss, sondern ggf. zu bestimmten Zeitpunkten, wie beispielsweise zu Beginn der Intervention, erfolgen kann.

- 5 Bei der Bestimmung der Transformation wird die berechnete Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur einbezogen.

Es versteht sich, dass durch das Anbringen externer oder interner Marker die Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur näherungsweise erfasst und in die Berechnung der
10 Transformation einbezogen werden kann.

Es versteht sich weiterhin, dass die Transformation über die Wegstrecke sukzessiv gelernt werden kann.

- 15 Dabei stellt die geometrische Beschreibung die Zentrallinien und/oder die Verzweigungen und/oder die Oberfläche der röhrenförmigen Organstruktur dar.

Die Erfindung wird anhand der folgenden Beispiele näher erläutert, ohne darauf beschränkt
20 zu sein.

Beispiel 1: Navigierte Bronchoskopie:

Vor dem Eingriff wird ein Skelett-Modell des Bronchialbaumes auf die oben beschriebene
25 Art und Weise erstellt und der Weg zur Zielregion identifiziert.

Auf der Patientenoberfläche werden dann zwei oder mehr räumlich erfassbare Objekte (Tracker) eines Trackingssystems angebracht. Der Mediziner führt die räumlich getrackte Bronchoskopiespitze in die Trachea ein. Mittels der Bronchoskopie-Kamera wird die Lage des Bronchoskops mit der Position in den Bilddaten vom Arzt verglichen und interaktiv
30 zugeordnet. Anschließend wird die Position der Bronchoskopiespitze zum Bronchialbaum nach dem oben beschriebenen Verfahren korrigiert. So kann beispielsweise von einer in den präoperativen Bilddaten identifizierten Läsion zielgenau eine Biopsie entnommen werden.

Ein weiterer Anwendungsfall für die onkologische Bronchoskopie betrifft die Positionierung von Bestrahlungs sonden innerhalb eines Bronchus.

5

Beispiel 2: Ablauf einer Untersuchung

Unter Gebrauch des Open Source Toolkits MITK (Medical Imaging Interaction Toolkit, Wolf et al., MITK, 2004, Band 5367, Seiten 16-27) wird das Navigationssystem ARION
10 (Augmented Reality for intraoperativ Navigation, Vetter et al., 2003, Navigationaids and real-time deformation modeling for open liver surgery, 2003, Band 5029, Seiten 58-68) für die Bronchoskopie bzw. Brachytherapie erweitert. Mit der entwickelten Applikation können alle für die Planung, Berechnung und Durchführung notwendigen Schritte durchgeführt werden. Zunächst wird der Bronchialbaum mit besonderem Augenmerk auf
15 untere Generationen extrahiert. Das Ergebnis wird in eine mathematische Beschreibung überführt (Schoebinger M. et al., 2003, in: BVM, Seiten 76-80). Zugleich kann eine für die Operation wichtige Region (Karzinom) durch den Gebrauch interaktiver Werkzeuge segmentiert werden. Unter 2D- und 3D-Ansicht auf den Bronchialbaum und der weiteren Segmentierung deklariert ein Lungespezialist daraufhin interaktiv den Start- und
20 Endpunkt des erwünschten Leitpfades, worauf der errechnete Pfad aus der mathematischen Beschreibung errechnet und unmittelbar angezeigt wird. Auf Wunsch kann das Ergebnis interaktiv verändert werden. Während der Intervention wird ein handelsübliches elektromagnetisches Trackingsystem (z.B. Aurora, NDI) verwendet, um die Position der Katheterspitze zu messen. Ein neuer, sukzessiver Registrierungsprozess verbessert die
25 Genauigkeit in der Peripherie der Lunge. Die Position der Katheterspitze relativ zum Bronchialbaum, der Zielbronchus und der Pfad dorthin kann nun über 2D- und 3D-Ansichten angezeigt werden. Ebenfalls ist es, durch erweiterte Realität (Augmented Reality) möglich, den Zielpfad in das Bronchoskopie-Videobild einzublenden.

30

Beispiel 3: Repräsentation des Bronchialbaums

Erste Versuche an einem beweglichen Lungemodell haben gezeigt, dass durch die sukzessive Registrierung eine Verbesserung der Genauigkeit erreicht wird. Die Tests
35 werden z.B. mit Aurora (NDI) und dem MicroBird System (Ascension; Milton, Vermont, USA) durchgeführt. Die mathematische Repräsentation des Bronchialbaums ermöglicht

einen schnellen und interaktiven Umgang mit den Daten. Die Visualisierung des Zielpfads kann auf die Gewohnheiten des Lungenspezialisten angepasst werden. Es stehen 2D-Schnittbilder und eine 3D-Ansicht auf den Bronchialbaum mit Zielpfad und der Katheterspitze zur Verfügung. Ferner zeichnet sich ab, dass ein bildgestütztes Navigationssystem, welches die Fusion von Bronchoskopie-Videobild mit Zielpfad vornimmt, eine deutliche Verbesserung für den Lungenspezialisten darstellt. Die Einblendung eines Leitpfades kann das mühsame und zeitaufwändige Aufsuchen der Zielregion deutlich verbessern und so die Belastung des Patienten durch kürzere Narkosezeiten verringern und eventuell den Verzicht auf Kontroll-CT zur Lageüberprüfung des Katheters ermöglichen. Selbst wenn das Bronchoskop aufgrund seiner Größe nicht weiter in die Peripherie gelangen kann, wird es durch die verbesserte Registrierung möglich sein, den Bestrahlungskatheter mittels virtueller Bronchoskopie weiter in die Peripherie zu leiten. Für die Brachytherapie bedeutet das eine verbesserte Lagebestimmung der Bestrahlungsprobe während der gesamten Therapie.

Durch das erfindungsgemäße Navigationssystem folgt der Lungenspezialist dem im Videobild virtuell eingeblendeten Pfad bis zum Zielbronchus. Somit wird erstmals eine bildbasierte Navigationsunterstützung für die Bronchoskopie bzw. Brachytherapie realisiert. Hierbei ist die Immersion des Lungenspezialisten gering, da lediglich ein dünner Pfad in das gewohnte Bronchoskopiebild eingezeichnet wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Navigation bei medizinischen Eingriffen an röhrenförmigen Organstrukturen,
5 dadurch gekennzeichnet,
dass vor dem Eingriff statische Bilddaten der röhrenförmigen Organstrukturen aufgenommen und gespeichert werden,
dass aus den Bilddaten die röhrenförmigen Organstrukturen extrahiert werden und deren Verlauf in eine geometrische Beschreibung überführt wird, die während der
10 medizinischen Intervention zur Instrumenten-Organregistrierung verwendet wird, indem das durch ein Trackingsystem räumlich lokalisierte Instrument unter Einbeziehung der geometrischen Beschreibung und Informationen über die bisherige von dem Instrument zurückgelegte Wegstrecke durch eine Transformation, die vorzugsweise durch ein Optimierungsverfahren bestimmt wird, relativ zu den
15 statischen Daten sukzessive korrigiert wird
oder
umgekehrt die statischen Daten relativ zu der Instrumentenposition sukzessive korrigiert werden, und somit die Position des Instruments den anatomischen Strukturen in den statischen Bilddaten zugeordnet wird.
20
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Information über die Wegstrecke die kontinuierlich aufgezeichnete räumliche Position des Instrumentes darstellt.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass als räumliche Position des Instrumentes nur die Instrumentenspitze erfasst wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass als räumliche Position des Instrumentes mehrere Positionen entlang des Instruments erfasst werden.
- 30 5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die räumliche Position des Instrumentes kontinuierlich entlang des Instruments erfasst wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Information über die
35 Wegstrecke weitere Merkmale, die insbesondere Verzweigungen der röhrenförmigen

Organstrukturen oder deren Durchmesser darstellen können, enthält, die während des Vorschiebens des Instruments erfasst werden.

- 5 7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Transformation die statischen Bilddaten verformt.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus der sich zeitlich ändernden Position des Instruments die zyklischen Bewegungen, die insbesondere Atembewegungen darstellen können, der röhrenförmigen Organstruktur berechnet werden.
- 10 9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur aus den Komponenten der Bewegung des Instrumentes, die orthogonal zu der röhrenförmigen Organstruktur sind, errechnet wird.
- 15 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Transformation die berechneten Bewegungen der röhrenförmigen Organstruktur einbeziehen.
- 20 11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass durch Anbringen externer oder interner Marker die Bewegung der röhrenförmigen Organstruktur erfasst und in die Berechnung der Transformation einbezogen wird.
- 25 12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Transformation über die Wegstrecke sukzessive gelernt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die geometrische Beschreibung die Zentrallinien der röhrenförmigen Organstruktur darstellt.
- 30 14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die geometrische Beschreibung die Verzweigungen der röhrenförmigen Organstruktur darstellt.
15. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die geometrische Beschreibung die Oberfläche der röhrenförmigen Organstruktur darstellt.
- 35

16. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 bei bronchoskopischen Eingriffen.
17. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 als Ersatz für angiographische Bildgebung bei Katheterinterventionen.
18. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 bei der Implantation von Herzschrittmachern.
19. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 zur Positionierung von Sonden.
20. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 zur Positionierung von Ablationselektroden.
21. Verwendung des Verfahrens gemäß einem oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 15 zur Positionierung von Stents in Gefäßen und Bronchien.
22. Verwendung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15 zur Lageüberprüfung eines Katheters.
23. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in die Berechnung der Position ein verallgemeinertes Bewegungsmodell der röhrenförmigen Struktur berücksichtigt wird.
24. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in die Berechnung der Position ein verallgemeinertes Bewegungsmodell des umliegenden Gewebes der röhrenförmigen Organstruktur mit einbezogen wird.
25. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in die Berechnung der Position ein patientenindividuelles Bewegungsmodell der röhrenförmigen Struktur berücksichtigt wird.

26. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in die Berechnung der Position ein patientenindividuelles Bewegungsmodell des umliegenden Gewebes der röhrenförmigen Organstruktur mit einbezogen wird.
- 5 27. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass nur zu bestimmten Zeitabschnitten die sukzessive Verbesserung der Registrierung erfolgt.
28. Verfahren nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, dass weitere Teile der Röhrenförmigen Struktur durch Aufzeichnung der Instrumentenposition unter Berücksichtigung der berechneten zyklischen Bewegungen nach Anspruch 8 erfasst werden.
- 10 29. Verfahren nach Anspruch 27 dadurch gekennzeichnet, dass die gesamten Informationen über die röhrenförmige Struktur aus den aufgezeichneten und Bewegungskorrigierten Instrumentenpositionen gewonnen werden und als (quasi-)statische Informationen genutzt werden.
- 15 30. Verfahren nach Anspruch 28 dadurch gekennzeichnet, dass die gesammelten Informationen zu einem späteren Zeitpunkt als statische Information genutzt werden können.
- 20